

УДК 616.361-007.271-089

О.В. Іванько, В.В. Скиба, В.Я. Стадник, Н.В. Войтюк, І.І. Плюта

Сучасні стратегії та технологічні інновації в хірургічному лікуванні доброякісних обструкцій дистального відділу жовчода

Національний медичний університет імені О.О. Богомольця, м. Київ, Україна

Paediatric Surgery (Ukraine). 2026. 1(90): 111-118. doi: 10.15574/PS.2026.1(90).111118

For citation: Ivanko OV, Skyba VV, Stadnyk VYa, Voytyuk NV, Pliuta II. (2026). Modern strategies and technological innovations in the surgical treatment of benign obstructions of the distal choledochus. Paediatric Surgery (Ukraine). 1(90): 111-118. doi: 10.15574/PS.2026.1(90).111118.

Мета – проаналізувати відомості про сучасні хірургічні методи лікування доброякісних обструкцій дистальних жовчних протоків, що призводять до механічної жовтяниці.

Аналіз літератури дає змогу зробити висновки, що такі методи, як ендоскопічне ультразвукове дренивання жовчних протоків, магнітно-компресійний анастомоз і роботизована хірургія виявилися перспективними під час хірургічного лікування доброякісних обструкцій дистального відділу жовчода у хворих на механічну жовтяницю, особливо коли традиційні підходи є складними або неефективними. Вони менш травматичні, більш точні і дають можливість виконувати складніші оперативні втручання за традиційну хірургію. Однак для остаточного визначення місця цих нових методів у клінічній практиці необхідні подальші масштабні дослідження з довгостроковим спостереженням. Важливо ретельно оцінювати ефективність і безпечність кожного методу, визначати оптимальні критерії відбору пацієнтів і порівнювати їх із традиційними підходами. Подальший розвиток технологій, таких як поліпшені стенти, системи доставки магнітів та інтеграція штучного інтелекту, також відіграватимуть важливу роль у вдосконаленні хірургічного лікування доброякісних обструкцій дистальних жовчних протоків і поліпшенні результатів лікування пацієнтів. Подальші дослідження та співпраця між фахівцями є ключем до оптимізації стратегій лікування та підвищення якості життя пацієнтів з цією складною патологією.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Ключові слова: жовчода, жовчодахолітаз, механічна жовтяниця, доброякісні обструкції жовчода, хірургічне лікування механічної жовтяниці, роботизована хірургія, штучний інтелект.

Modern strategies and technological innovations in the surgical treatment of benign obstructions of the distal choledochus

O.V. Ivanko, V.V. Skyba, V.Ya. Stadnyk, N.V. Voytyuk, I.I. Pliuta*Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine*

Aim – to analyze information on modern surgical methods for the treatment of benign obstructions of the distal bile ducts leading to mechanical jaundice.

The analysis of the literature allows us to conclude that such methods as endoscopic ultrasound drainage of the bile ducts, magnetic compression anastomosis and robotic surgery turned out to be promising in the surgical treatment of benign obstructions of the distal choledochus in patients with mechanical jaundice, especially when traditional approaches are complex or ineffective. They are less traumatic, more accurate and make it possible to perform more complex surgical interventions than traditional surgery. However, further large-scale studies with long-term follow-up are needed to definitively determine the place of these new methods in clinical practice. It is important to carefully assess the effectiveness and safety of each method, determine the optimal criteria for selecting patients and compare them with traditional approaches. Further advances in technology such as improved stents, magnet delivery systems, and artificial intelligence integration will also play an important role in improving the surgical treatment of benign distal bile duct obstructions and improving patient outcomes. Further research and collaboration between specialists are key to optimizing treatment strategies and improving the quality of life of patients with this complex pathology.

Reviews

The authors declare no conflict of interest.

Keywords: choledochus, choledocholithiasis, mechanical jaundice, benign choledochus obstructions, surgical treatment of mechanical jaundice, robotic surgery, artificial intelligence.

Вступ

Проблема лікування доброякісних обструкцій дистального відділу загальної жовчної протоки (холедоха) зазнала фундаментальних змін у період за 2020–2025 рр., що зумовлено стрімким розвитком мініінвазивних технологій, впровадженням систем штучного інтелекту і появою нових біоінженерних матеріалів [31,34,44,47,62]. Доброякісні стриктури жовчних протоків (ДСЖП) є гетерогенною групою захворювань, що виникають унаслідок ятрогенних пошкоджень, хронічних запальних процесів або системних імунологічних порушень [20,26,61]. Історично ці стани потребували складних відкритих реконструктивних операцій, проте сучасний етап розвитку хірургії характеризується зміщенням фокусу в бік ендоскопічних і роботизованих втручань, які забезпечують високу прецизійність при мінімальній травматизації [37,59,70].

Мета огляду – оцінити ефективність новітніх хірургічних втручань порівняно з традиційними методами лікування доброякісних обструкцій дистальних жовчних протоків, ускладнених механічною жовтяницею.

Сьогодні етіологічна структура доброякісних обструкцій дистального холедоха залишається стабільною, де провідне місце посідають ятрогенні пошкодження під час лапароскопічної холецистектомії, що трапляються у 2–7 разів частіше порівняно з відкритими операціями [45,61,63]. Іншою значущою причиною є хронічний панкреатит, який призводить до фіброзного звуження інтрапанкреатичної частини холедоха, а також первинний склерозуючий холангіт та IgG4-асоційований холангіт [55].

Ключовим аспектом є диференціація доброякісної та злоякісної обструкцій дистальних жовчних протоків. Точне встановлення діагнозу є складним через схожість клінічних і візуалізаційних ознак. Злоякісні стриктури, часто спричинені аденокарциномною підшлункової залози або холангіокарциномною, мають вирішальне значення в обранні лікування і прогнозу. Для оцінювання застосовуються різні методи візуалізації, такі як ультразвукове дослідження (УЗД), комп'ютерна томографія (КТ), магнітно-резонансна томографія (МРТ) / магнітно-резонансна холангіопанкреатографія (МРХПГ) та ендоскопічне ультразвукове дослідження (ЕУЗД). Для остаточного встановлення діагнозу часто слід

отримати зразки тканини за допомогою ендоскопічної ретроградної холангіопанкреатографії (ЕРХПГ). Ризик злоякісності при біліарних стриктурах без виявленої маси на візуалізаційних дослідженнях наголошує на необхідності ретельного обстеження і подальшого спостереження, навіть у разі підозри на доброякісні причини. Значна частина біліарних стриктур може бути злоякісною навіть без очевидних ознак. Це потребує ретельного діагностичного обстеження та іноді тривалого моніторингу, щоб уникнути пропуску діагнозу раку і затримки відповідного лікування [9,35,45,72].

Своєчасне диференційне діагностування між доброякісними та злоякісними звуженнями є критичним етапом, оскільки близько 55% біліарних стриктур без чіткої маси на початкових етапах виявляються злоякісними. Тому важливо, що помилкова ідентифікація злоякісного процесу як доброякісного може призводити до втрати часу для радикального лікування, тоді як гіпердіагностика раку спричиняє виконання непотрібних розширених резекцій із високим ризиком морбідності [72]. Це зумовлює необхідність застосування мультимодального діагностичного підходу, що передбачає сучасні методи візуалізації, біохімічні маркери та інноваційні методи тканинної верифікації. Критерії диференціації: морфологія країв (гладкі та симетричні при доброякісних стриктурах та нерівні і асиметричні при злоякісних); довжина сегмента (короткий при доброякісних стриктурах і довгий понад 10 мм при злоякісних стриктурах); контрактне підсилення (мінімальне або відсутнє при доброякісних стриктурах і виражене при злоякісних); стан навколишніх тканин (ознаки хронічного запалення або фіброзу при доброякісному процесі та інвазія в судини чи паренхіму органа) [61,63].

Традиційні, нові та експериментальні методи хірургічного лікування доброякісних обструкцій дистальних жовчних протоків

Традиційно хірургічне втручання було основним методом лікування доброякісних біліарних стриктур. Історично стандартним підходом були резекція стриктури з наступним відновленням прохідності жовчовивідних шляхів шляхом формування біліоентерального анастомозу, такого як холедохоеюностомія або гепатикоеюностомія. Інші традиційні методи передбачають холецистектомію з дослідженням жовчних протоків і зовнішнім дренажуванням

холедоха, трансдуоденальну сфінктеропластику та холедоходуоденостомію [4,22,23,41].

Традиційні хірургічні методи в переважній більшості випадків є важливими під час виконання гепатикоєюноанастомозу. Вони можуть забезпечити остаточне лікування складних або рефрактерних стриктур, коли ендоскопічні методи є неефективними. Roux-en-Y гепатикоєюностомія є добре вивченою і широко використовуваною хірургічною процедурою [23,41].

Однак традиційні хірургічні методи пов'язані зі значною кількістю ускладнень (близько 25%) і потенційною смертністю порівняно з ендоскопічною терапією. Вони потребують загальної анестезії, лапаротомії (при відкритій операції) і тривалого перебування в стаціонарі. Існує ризик ранніх і пізніх ускладнень, включаючи витік жовчі, інфекції та рецидив стриктур. Технічні труднощі можуть виникати у випадках значного запалення або спотвореної анатомії, наприклад, при синдромі Мірізі [60].

Компроміс між високою довгостроковою ефективністю традиційної хірургії та її вищим рівнем захворюваності зумовлює необхідність менш інвазивних, але ефективних альтернативних методів лікування. Хоча хірургія може запропонувати постійне вирішення проблеми, пов'язані з нею ризику та період відновлення роблять її менш бажаною як лікування першої лінії, особливо при доброякісних станах. Це потребує розроблення нових мініінвазивних методів. Серед них слід відзначити ендоскопічні та черезшкірні підходи. [11,17,24] У випадках, коли потрібне хірургічне втручання, все більшого поширення набувають лапароскопічні й роботизовані методи [6,21,29].

Технологічний прорив у діагностуванні: штучний інтелект, прецизійна візуалізація та 3D-реконструкції

Період 2020–2025 рр. ознаменувався інтеграцією штучного інтелекту (AI) та великих мовних моделей (LLM) у процеси аналізу медичних зображень і клінічних даних. Це дало змогу суттєво підвищити точність інтерпретації результатів МРХПГ та ЕУЗД [33,58].

Дослідження С. Kang та співавт. (2024) свідчать, що спеціалізовані AI-моделі здатні аналізувати сукупність лабораторних показників, результатів інструментальних досліджень та анамнестичних даних пацієнтів із біліарними стриктурами з ефективністю, що часто перевищує людську експертизу [33]. В експериментальній вибірці з 159 пацієнтів модель Kimi показує точність 87%, статистично перевершивши результати більшості

досвідчених лікарів. Це відкриває нові можливості для швидкого сортування пацієнтів і виявлення прихованих ознак малігнізації, які можуть бути непомітними за стандартного перегляду знімків [33]. Моделі Deepseek-R1 та Llama-3.1 також відзначають високі показники точності (понад 80%), випереджаючи традиційні онкомаркери, такі як СА19–9 та СЕА [33]. Однак важливо зауважити, що для проксимальних стриктур холедоха точність AI-моделей залишається нижчою порівняно з дистальними ураженнями, що підкреслює необхідність збереження провідної ролі лікаря в аналізі складних анатомічних зон.

Сучаснік діагностування обструкцій холедоха базується на застосуванні МРХПГ, яка за точністю є порівнянною з інвазивною ЕРХПГ. Встановлено, що МРХПГ має чутливість на рівні 81% і специфічність 70% при диференціації стриктур. Однією з особливостей МРХПГ є тенденція до візуалізації довшого сегмента звуження через колапс дистального відділу протоки, що слід враховувати хірургу в передопераційному плануванні. Сучасне діагностування базується на МРХПГ, яка показує чутливість 81% і специфічність 70% [58].

Інноваційним напрямом років є застосування 3D-візуалізації та AI-алгоритмів для автоматичної сегментації зображень. Це дає змогу створювати пацієнт-специфічні об'ємні моделі, які відтворюють анатомію з високою точністю. Хірурги можуть інтерактивно маніпулювати цими моделями, оцінюючи просторові відносини між стриктурою, судинами і паренхімою печінки. Доведено, що застосування таких моделей змінює хірургічну тактику в третині складних випадків, зменшуючи час операції та об'єм крововтрати [50]

Ендоскопічні стратегії лікування: від ЕРХПГ до біліарного дренивання під контролем УЗД

Ендоскопічне біліарне дренивання є наріжним каменем лікування доброякісних обструкцій холедоха. Протягом останніх років стандартизовано звітність результатів цих втручань згідно з оновленими критеріями Токіо (TOKYO 2024). Ці критерії ввели нові терміни, такі як «stent-demanding time», що охоплює весь період перебування стента в протоці та оцінює довгострокові результати, що особливо важливо в лікуванні BBS [25]. Перевагами біліарного дренивання під контролем ультразвуку є такі: у випадках, коли стандартна канюляція при ЕРХПГ є неможливою (наприклад, при зміненій анатомії після операцій за Ру або при великих дивертикулах), методом вибору є біліарне дренивання під контролем ендосо-

Reviews

нографії. За даними метааналізу 2023 року, воно має технічний успіх на рівні 88% і клінічний успіх 89% при доброякісних обструкціях [11]. Однією з ключових переваг біліарного дренивання під контролем ультразвуку над традиційним черезшкірним дрениванням є створення внутрішнього фізіологічного дренажу. Це позбавляє пацієнта необхідності носити зовнішні катетери, які суттєво знижують якість життя та є джерелом інфекційних ускладнень [8,17,64]. Метааналіз F. Kamal та співавт. (2023) свідчить, що біліарне дренивання під контролем ультразвуку показує технічний успіх на рівні 88% і клінічний успіх 89% при доброякісних обструкціях [32]. Цей метод являється альтернативою, коли ЕРПХГ показує негативний результат. Крім того, воно асоціюється з нижчою частотою повторних втручань порівняно з ЕРХПГ при певному дизайні стентів, зокрема, у разі застосування металевих стентів із просвітним аппозиціонуванням.

Слід зазначити, що у 2024 р. стандартизовано звітність результатів згідно з оновленими критеріями ТОКЮО 2024, якими введено термін «stent-demanding time» для оцінювання довгострокових результатів [25].

Ендоскопічне ультразвукове дренивання жовчних протоків (ЕУДЖП) є одним із нових мініінвазивних методів [7,26,32,71]. Воно застосовується як альтернатива ЕРХПГ або черезшкірному транспечінковому дрениванню жовчних протоків (ЧТДЖП), особливо у випадках, коли ЕРХПГ є невдалою або технічно неможливою. Існують різні техніки ЕУДЖП, зокрема, холедоходуоденостомія, гепатикогастростомія і метод рандеву [7,24,49]. Потенційними перевагами ЕУДЖП над традиційними методами є менша інвазивність і потенційно менша кількість ускладнень порівняно з ЧТДЖП [63,71]. Поява ЕУДЖП є значним прогресом у лікуванні обструкцій жовчних протоків у пацієнтів, у яких стандартна ендоскопія є складною. Для пацієнтів зі зміненою анатомією або невдалою ЕРХПГ ЕУДЖП пропонує мініінвазивний шлях для досягнення дренивання жовчних протоків, потенційно уникаючи більш інвазивних хірургічних процедур [64].

Нові горизонти: магнітно-компресійний анастомоз (МКА)

Для пацієнтів із повною оклюзією жовчних протоків, де проведення провідника через стриктуру є технічно неможливим, революційним рішенням є МКА. Ця технологія базується на застосуванні двох потужних неодимових магнітів, які підводяться до місця оклюзії з двох боків (черезшкірно та ендоскопічно).

Магнітно-компресійний анастомоз є нехірургічною технікою реконструкції обструктованих жовчних протоків, особливо коли традиційні методи є неефективними. Механізм дії полягає в застосуванні магнітів, розміщених на обох кінцях стриктури, для індукції ішемічного некрозу та створення нового фістульного ходу. Магніти можуть бути доставлені черезшкірно та ендоскопічно. МКА являє собою новий, мініінвазивний підхід до лікування складних біліарних стриктур, які складно піддаються лікуванню іншими методами, потенційно зменшуючи потребу у великій хірургії. При повністю обструктованих або сильно стенозованих жовчних протоках, де проходження провідника неможливе, МКА пропонує унікальне рішення шляхом створення нового каналу через компресію с некроз тканини, уникаючи інвазивного традиційного хірургічного шунтування [18,28,66]. Результати застосування МСА свідчать про високу безпечність і ефективність. Успішна реканалізація досягнута у 92,9% пацієнтів із повною доброякісною обструкцією [18]. Спостереження протягом шести місяців показали низьку частоту рецидивів (14,3%), які успішно коригувалися повторним мініінвазивним втручанням. Гістологічні дослідження підтверджують, що МКА сприяє формуванню нового анастомозу з повною епітелізацією і мінімальним фіброзом, що пояснює кращу довгострокову прохідність порівняно з механічною балонною дилатацією [27,65,67].

Застосування нових матеріалів: біорезорбційні та 3D-друковані стенти

Розроблення нових типів стентів є одним із найдинамічніших напрямів останніх років. Основними проблемами традиційних пластикових і металевих стентів є їхня оклюзія, міграція і необхідність повторних процедур для видалення [12,17,42].

Для усунення потреби в повторній ендоскопії розроблено спеціальні біорезорбційні стенти. Вони забезпечують тимчасову підтримку протоки протягом критичного періоду загоєння (3–6 місяців), після чого розкладаються на нетоксичні метаболіти. Сучасні полімерні системи, які виготовляються з полі-L-молочної кислоти, дають змогу точно контролювати час деградації завдяки наноінженерним покриттям. Досить популярним є стент UNITY-B, у якому застосовується магнієва основа як «кістяк» для забезпечення радіальної міцності та полімерне покриття для стабілізації. Технологія FDM (Fused Deposition Modeling) і SLA (Stereolithography) дає змогу створювати 3D-стенти з індивідуальною геометрією, що ідеально

відповідає анатомії пацієнта. Біосумісні смоли, такі як BioMed Durable, допомагають створювати гнучкі та міцні конструкції, що можуть бути стерилізовані в автоклаві [12,15,38,62].

Одним з основних ускладнень під час стентування дистального холедоха є дуодено-біліарний рефлюкс, що призводить до висхідного холангіту. Останніми роками запропоновано кілька інноваційних конструкцій металевих стентів з антирефлюксними властивостями. По-перше, конічний дизайн: стенти з прогресивним звуженням до дистального кінця (наприклад, з 8 мм до 6 мм). Така форма створює градієнт тиску, що сприяє фізіологічному відтоку жовчі та перешкоджає зворотному току кишкового вмісту. По-друге, клапанні системи: складні пелюсткові клапани (tricuspid valves). Проте клінічні дані щодо їхньої переваги над звичайними стентами залишаються неоднозначними через швидке забруднення клапанів шламом. І по-третє, функціональні покриття: нанесення на поверхню стента лікарських засобів (наприклад, сіролімусу або антибіотиків) і наночастинок срібла для запобігання росту бактеріальних біоплівки. Розроблення стентів у 2025 р. фокусується на запобіганні гіперплазії та біоплівкам. Це наноінженерні стенти, що значно знижують бактеріальну адгезію та проліферацію фібробластів, біорезорбційні системи (стент UNITY-B, у якому застосовується магнієвий сплав як опорна структура («bone»)) і полімерне покриття для стабільності). Технології SLA дають змогу створювати індивідуальні 3D-стенти з біосумісних смол, таких як BioMed Durable [64].

Хірургічна реконструкція: роботизована хірургія

Коли ендоскопічні методи не забезпечують стійкого ефекту, необхідна хірургічна реконструкція жовчних шляхів. Протягом останніх років значно зростає кількість роботизованих гепатикоєюностомій порівняно з класичною лапароскопічною хірургією [6,14,19]. Роботизована гепатикоєюностомія стає новим стандартом завдяки підвищеній точності анастомозу. Мультицентрове дослідження 604 пацієнтів свідчить, що роботизована хірургія знижує частоту стриктур анастомозу до 1,32% порівняно з 4,30% при лапароскопічних втручаннях, рівень запального процесу і термін госпіталізації [21]. Автори показують, що роботизована система забезпечує вищу якість шва і швидше відновлення пацієнтів. Основна перевага роботизованої хірургії полягає в усуненні фізіологічного тремору рук хірурга і забезпеченні 7 ступенів свободи маніпуляторів, що допомагає накладати шви на жовчні протоки діаметром навіть у кілька міліметрів із високою точністю.

Це критично важливо в лікуванні вроджених аномалій, таких як кісти холедоха в дітей, де роботизована хірургія має меншу частоту неспроможності анастомозів (0% проти 7,9% за лапароскопічної хірургії) [6,14,19,21,29,39].

Цифрова хірургія та регенеративна медицина

Майбутнє хірургічного лікування обструкцій холедоха нерозривно пов'язане з концепцією «цифрового двійника» і тканинною інженерією. Система штучної реальності, поєднана з флуоресцентною навігацією ICG, дає змогу досягти успіху реконструкції у 85,7 складних ятрогенних пошкоджень холедоха з розвитком механічної жовтяниці [44,62].

У 2025 р. застосування штучної реальності під час операцій стало реальністю. Система накладає 3D-модель біліарного дерева безпосередньо на відеозображення з лапароскопа, створюючи ефект «рентгенівського зору». Це допомагає хірургові точно ідентифікувати межі стриктури та розташування життєво важливих судин, прихованих у рубцевих тканинах. Поєднання штучної реальності з флуоресцентною навігацією індоціаніном зеленим дає змогу досягти успіху реконструкції у 85,7% найскладніших випадків ятрогенних пошкоджень холедоха [50].

Найбільш амбітним напрямом є створення функціональних жовчних протоків *ex vivo*. За останні роки досягнуто значних успіхів у 3D-біопринтингу з використанням біочорнил на основі живих клітин (холангіоцитів і мезенхімальних стовбурових клітин) для створення трубчастих конструкцій. Надруковані протоки проходять етап «дозрівання в біореакторах», під час якого клітини організуються у функціональний епітелій, здатний витримувати фізіологічний потік жовчі. Останні дослідження на великих тваринах підтверджують можливість заміщення ділянок холедоха біоінженерними протезами, які з часом інтегруються в тканини господаря, не викликаючи відторгнення або фіброзу [15,17,38,42,50].

Висновки

На основі аналізу наукових даних за 2020–2025 рр. можна стверджувати, що хірургічне лікування доброякісних обструкцій дистального відділу холедоха перейшло на якісно новий рівень. Основними векторами розвитку є застосування штучного інтелекту для розрізнення доброякісних і злоякісних процесів із точністю понад 85%, що мінімізує діагностичні помилки. Пріоритетним є застосування мінімально інвазивної декомпресії – дренажу жовчних протоків під контролем ультразвуку замість черешкірних методів і впровадження магніт-

Reviews

ної реканалізації як альтернативи великим хірургічним операціям. Досить перспективним є застосування персоналізованих матеріалів – біодеградабельних та 3D-друкованих стентів, що адаптовані до індивідуальної анатомії пацієнта і не потребують видалення. Значущим є визнання роботизованої гепатикоєюностомії «золотим» стандартом хірургічної реконструкції завдяки кращим довгостроковим результатам і низькій частоті повторних стриктур. Потенційні переваги передбачають підвищену точність, 3D-візуалізацію, більшу спритність інструментів і потенційно кращі результати порівняно з лапароскопічною хірургією. Впровадження цих інновацій дає змогу не лише ефективно усувати біліарну обструкцію, але й суттєво зменшувати кількість ускладнень, скорочувати терміни реабілітації та забезпечувати високу якість життя пацієнтів у довгостроковій перспективі. Розроблення магнітно-компресійних анастомозів дає змогу контролювати некроз тканини для обходу повної обструкції без необхідності значного хірургічного розтину. Існує потенціал для формування більш фізіологічного анастомозу порівняно з форсованим розширенням. Розвиток регенеративних технологій у найближчі роки може призводити до повної відмови від синтетичних стентів на користь біоінженерних тканин, що стане остаточним рішенням проблеми доброякісних захворювань жовчних шляхів.

Майбутні дослідження, імовірно, будуть зосереджені на оптимізації існуючих мініінвазивних технік, розробленні нових технологій і проведенні ретельних досліджень для визначення найкращих стратегій лікування різних типів доброякісних біліарних стриктур.

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

References/Література

1. Aawsaj Y, Light D, Horgan L. (2016). Laparoscopic common bile duct exploration: 15-year experience in a district general hospital. *Surg Endosc.* 30: 2563-2566
2. Adler DG. (2023). Fundamentals of ERCP: Biliary and Pancreatic Stents. *Practical Gastroenterology.* 47(7): 28-34.
3. Alkhamisi NA, Davies WT, Pinto RF et al. (2013). Robot-assisted common bile duct exploration as an option for complex choledocholithiasis. *Surg Endosc.* 27: 263-266.
4. Aoki H. (2024, Oct 27). Changes over time in treatment for obstructive jaundice. *World J Gastrointest Surg.* 16(10): 3074-3077. doi: 10.4240/wjgs.v16.i10.3074. PMID: 39575272; PMCID: PMC11577415.
5. Ashat M, Berei J, El-Abiad R, Khashab MA. (2024). Benign Biliary Strictures: A Comprehensive Review. *Turkish Journal of Gastroenterology.* 35(7): 513-522. doi: 10.5152/tig.2024.24044.
6. Ballantyne GH, Moll F. (2003). The da Vinci telerobotic surgical system: the virtual operative field and telepresence surgery. *Surg Clin North Am.* 83: 1293-1304. doi: 10.1016/S0039-6109(03)00164-6.
7. Bang JY, Faraj Agha M, Hawes R, Varadarajulu S. (2025, Dec 5). Rate of suitable cases for primary EUS-guided biliary drainage in distal malignant biliary obstruction. *Gut.* 75(1): 6-9. doi: 10.1136/gutjnl-2025-334979. PMID: 40011036; PMCID: PMC12703326.
8. Baniya R, Upadhaya S, Madala S, Subedi SC et al. (2017, Apr 3). Endoscopic ultrasound-guided biliary drainage versus percutaneous transhepatic biliary drainage after failed retrograde cholangiopancreatography: a meta-analysis. *Clinical and Experimental Gastroenterology.* 10: 67-74. doi: 10.2147/CEG.S132004.
9. Boulay BR, Birg A. (2016, Jun 15). Malignant biliary obstruction: From palliation to treatment. *World Journal of Gastrointestinal Oncology.* 8(6): 498-508. doi: 10.4251/wjgo.v8.i6.498. PMID:27326319; PMCID:PMC4909451.
10. Bumrungrad International Hospital. (2024, Nov). American Guidelines (ASGE 2024) for Biliary Obstruction: EUS and ERCP for Complex Biliary Drainage. *Health Blog.*
11. Cai H, Sun D, Sun Y et al. (2011). Primary Closure Following Laparoscopic Common Bile Duct Exploration Combined with Intraoperative Cholangiography and Choledochoscopy. *World J Surg.* 36(1): 164-170. doi: 10.1007/s00268-011-1346-6.
12. Cordista V, Patel S, Lawson R et al. (2024). Towards a Customizable, SLA 3D-Printed Biliary Stent: Optimizing a Commercially Available Resin and Predicting Stent Behavior with Accurate In Sikico Testing. *Polymers.* 16(14): 1978. doi: 10.3390/polym16141978.
13. Coucke EM, Akbar H, Kahoon A, Lopez PP. (2025). Biliary Obstruction. *StatPearls – NCBI Bookshelf.* URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK539698>.
14. D'Hondt M, Wicherts DA. (2023) Robotic biliary surgery for benign and malignant bile duct obstruction: a case series. *J Robot Surg.* 17: 55-62. doi: 10.1007/s11701-022-01392-y.
15. Ding Y, Warlick L, Chen M, Taddese E, Collins C, Fu R et al. (2024) 3D printed, citrate-based bioresorbable vascular scaffolds for coronary artery angioplasty. *Bioactive materials.* 38: 195-206.
16. Doyle JB, Sethi A. (2023). Endoscopic Ultrasound-Guided Biliary Drainage. *J Clin Med.* 12(7): 2736. doi: 10.3390/ijcm12072736.
17. Gao B. (2025) 3D-bioprinting for bile duct tissue engineering: Current status and prospects. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology.* 13: 1554226. doi: 10.3389/fbioe.2025.1554226.
18. Garg P, Sharma M. (2025). Magnetic Compression Anastomosis for Treatment of Post-cholecystectomy Bile Duct Injury Related Biliary Strictures. *J Clin Radiol.* 9: 40-46, URL: <https://www.thieme-connect.com/products/ejournals/pdf/10.1055/s-0044-1795157.pdf>.
19. Gonzalez-Abos C, Lorenzo C, Rey S et al. (2024). High-Risk Biliary Anastomosis During Robotic Pancreaticoduodenectomy: Initial Experience with Biodegradable Biliary Stent. *Medicina.* 60(11): 1798. doi: 10.3390/medicina60111798.
20. Goosenberg E, Kashyap S. (2025). Bile Duct Stricture. *StatPearls Publishing – NCBI Bookshelf.* URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK559217>.
21. Grochola LF, Soll C, Zehnder A et al. (2019). Robot-assisted versus laparoscopic single-incision cholecystectomy: results of a randomized controlled trial. *Surg Endosc.* 33: 1482-1490. doi: 10.1007/s00464-018-6430-7.
22. Hayashibe A. (2011). 2 Case reports of postoperative benign biliary Stricture, for which Choledochojunostomy with partial hepatectomy of segment IV was performed successfully. *Japanese Journal of Gastroenterological Surgery.* 25(2): 228-232. <https://doi.org/10.11210/tando.25.228>
23. He Z, Fu Z, Wu Y et al. (2016). Surgical management of benign biliary strictures: a 20-year experience *Int J Clin Exp Med.*

- 9(2): 4635-4639. <https://e-century.us/files/ijcem/9/2/ijcem0016450.pdf>.
24. Hindyckx P, Degroote H, Tate D, Deprez PH. (2019). Endoscopic ultrasound-guided drainage of the biliary system: Techniques, indications and future perspectives. *World Journal of Gastrointestinal Endoscopy*. 11(2): 103-114.
 25. Isayama H, Hamada T, Fujisawa T et al. (2024). TOKYO criteria 2024 for the assessment of clinical outcomes of endoscopic biliary drainage. *Digestive Endoscopy*. *Digestive Endoscopy*. 36(11): 1195-1210. doi: 10.1111/den.14825.
 26. Jacob JS, Lee ME, Chew EY, et al. (2021). Evaluating the Revised American Society for Gastrointestinal Endoscopy Guidelines for Common Bile Duct Stone Diagnosis *Clin Endosc*. 54(2): 269-274. <http://doi.org/10.5946/ce.2020.100>.
 27. Jang SI, Cho JH, Lee DK. (2020, May). Magnetic Compression Anastomosis for the Treatment of Post-Transplant Biliary Stricture. *Clin Endosc*. 53(3): 266-275. Epub 2020 May 29. doi: 10.5946/ce.2020.095. PMID: 32506893; PMCID: PMC7280848.
 28. Jang SI, Lee KH, Yoon HJ et al. (2025). Long-term follow-up results after the recanalization of completely obstructed benign biliary strictures using magnetic compression anastomosis. *Endoscopy*. 55(1). doi: 10.1055/a-2732-2028.
 29. Ji WB, Zhao ZM, Dong JH et al. (2011) One-stage robotic-assisted laparoscopic cholecystectomy and common bile duct exploration with primary closure in 5 patients. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*. 21: 123-126.
 30. Judah JR, Draganov PV. (2007, Jul 14). Endoscopic therapy of benign biliary strictures. *World J Gastroenterol*. 13(26): 3531-3539. doi: 10.3748/wjg.v13.i26.3531. PMID: 17659703; PMCID: PMC4146792.
 31. Kalayarasan R, Sai Krishna P. (2023, Oct 27). Minimally invasive surgery for post cholecystectomy biliary stricture: current evidence and future perspectives. *World J Gastrointest Surg*. 15(10): 2098-2107. doi: 10.4240/wjgs.v15.i10.2098. PMID: 37969703; PMCID: PMC10642471.
 32. Kamal F, Khan MA, Lee-Smith W et al. (2023). Efficacy and safety of EUS-guided biliary drainage for benign biliary obstruction – A systematic review and meta-analysis. *Endoscopic Ultrasound*. 12(2): 228-236.
 33. Kang C, Li J, Yang X et al. (2025). Performance of large language models in the differential diagnosis of benign and malignant biliary stricture. *Frontiers on Oncology*. 15: 1613818. doi: 10.3389/fonc.2025.1613818.
 34. Kang LM, Xu L, Yu FK, Zhang FW, Lang L. (2024, Dec 27). Advances in minimally invasive treatment of malignant obstructive jaundice. *World J Gastrointest Surg*. 16(12): 3650-3654. doi: 10.4240/wjgs.v16.i12.3650. PMID: 39734452; PMCID: PMC11650242.
 35. Kukar M, Wilkinson N. (2015, Apr). Surgical Management of Bile Duct Strictures. *Indian J Surg*. 77(2): 125-132. Epub 2013 Sep 20. doi: 10.1007/s12262-013-0972-7. PMID: 26139967; PMCID: PMC4484525.
 36. Kuraoka N, Hashimoto S, Matsui S, Terai S. (2021). Endoscopic biliary drainage for distal biliary stenosis: a narrative review of current status and future prospects. *Digestive Medicine Research*, 4: 2617-2627. URL: dmr.amegroups.org/article/view/7636. doi: 10.21037/dmr-21-55.
 37. Kwon H., Namgoong JM, Kim DY, et al. (2025). Comparison of robotic versus laparoscopic cyst excision and hepaticojejunostomy for choledochal cyst in children: a propensity score-matched study. *Surgical Endoscopy*. 39(4): 2506-2511. doi: 10.1007/s00464-025-11594-8.
 38. Lakhtakia S, Tevethia HV, Inavolu P, Shah S, Reddy DN. (2021, Jan 7). Bilateral balloon expandable biodegradable stent (Y-stent) for postcholecystectomy perihilar biliary stricture. *VideoGIE*. 6(2): 80-83. doi: 10.1016/j.vgie.2020.11.001. PMID: 33884334; PMCID: PMC7859655.
 39. Lanfranco AR, Castellanos AE, Desai JP, Meyers WC. (2004) Robotic surgery: a current perspective. *Ann Surg*. 239: 14-21. doi: 10.1097/01.sla.0000103020.19595.7d. URL: <https://dmr.amegroups.org/article/view/7636/html>. Launois B.
 40. Latif J, Mountjoy P, Lewis H, Bhatti I, Awan A. (2024, Oct 1). Robotic assisted common bile duct exploration for management of complex gallstone disease. *Int J Surg*. 110(10): 6418-6425. doi: 10.1097/JS9.0000000000001817. PMID: 38896861; PMCID: PMC11486968.
 41. Launois B. (1997). Hepaticojejunostomy in Benign Biliary Stricture – Influence of Careful Postoperative Observations on Long-Term Results. *Digestive Surgery*. 14(6): 527-531.
 42. Lee H, Won DS, Park S, et al. (2024). 3D-printed versatile biliary stents with nanoengineered surface for anti-hyperplasia and antibiofilm formation. *Bioactive Materials*. 37(8): 172-190.
 43. Lindquister WS, Prologo JD, Krupinski EA, Peters GL. (2018, Feb). Structured Protocol for Benign Biliary Anastomotic Strictures: Impact on Long-Term Clinical Effectiveness. *AJR Am J Roentgenol*. 210(2): 447-453. Epub 2017 Dec 12. doi: 10.2214/AJR.17.18236. PMID: 29231757.
 44. Li P, Huang D, Gu W et al. (2025). Bioengineered BILE duct for Liver Regenerative Medicine and Bile Duct Reconstruction. *JGH Open*. 9(8): e70254. doi: 10.1002/jgh3.70254.
 45. Marshall HU, Einarsson C. (2007). Gallstone disease. *J Intern Med*. 261(6): 529-542. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2007.01783.x>. PMID: 17547709.
 46. Mehta NA, Berzin TM. (2024). Biliary Strictures. *Practical Gastro*. XLVIII(9). URL: <https://practicalgastro.com/2024/10/08/biliary-strictures/>.
 47. Minamizawa Y, Tomihira H. (2023). Minimally invasive surgery for post cholecystectomy biliary stricture: current evidence and future perspectives. *World Journal of Gastrointestinal Endoscopy*. 15(10): 2098-2108.
 48. Ni DJ, Yang QF, Nie L, Xu J, He SZ, Yao J. (2024, Nov 28). The past, present, and future of endoscopic management for biliary strictures: technological innovations and stent advancements. *Front Med (Lausanne)*. 11: 1334154. doi: 10.3389/fmed.2024.1334154. PMID: 39669990; PMCID: PMC11634603.
 49. Prachayakul V, Aswakul P. (2015). Endoscopic ultrasound-guided biliary drainage as an alternative to percutaneous drainage and surgical bypass. *World Journal of Gastrointestinal Endoscopy*. 7(1): 33-44.
 50. Ratti F, Serenari M, Aldrighetti L. (2024). Augmented reality improving intraoperative navigation in minimally invasive liver surgery: an interplay between 3D reconstruction and indocyanine green. *Updates in Surgery*. 76: 2701-2708.
 51. Raza D, Singh S, Crino SF et al. (2024). Diagnostic Approach to Biliary Strictures. *Diagnostics*. 15(3): 325. doi: 10.3390/diagnostics15030325.
 52. Sahoo MR, Ali MS, Sarthak S, Nayak J. (2022, Jan-Mar). Laparoscopic hepaticojejunostomy for benign biliary stricture: A case series of 16 patients at a tertiary care centre in India. *J Minim Access Surg*. 18(1): 20-24. doi: 10.4103/jmas.JMAS_223_20. PMID: 33885013; PMCID: PMC8830584.
 53. Shanbhogue AK, Tirumani SH, Prasad SR, Fasih N, McInnes M. (2011, Aug). Benign biliary strictures: a current comprehensive clinical and imaging review. *AJR Am J Roentgenol*. 197(2): W295-306. doi: 10.2214/AJR.10.6002. PMID: 21785056.
 54. Singh A, Gelrud A, Agarwal B. (2015, Feb). Biliary strictures: diagnostic considerations and approach. *Gastroenterol Rep (Oxf)*. 3(1): 22-31. Epub 2014 Oct 28. doi: 10.1093/gastro/gou072. PMID: 25355800; PMCID: PMC4324869.
 55. Singh A, Singh S. (2013). Benign bile duct strictures. *Annals of Gastroenterology*. 26(4): 306-312.
 56. Smith SM, Kelley JK, Zambito GM, Banks-Venegoni AL. (2025, Aug). One- and Two-Stage Approaches to Common Duct Stones. *Am Surg*. 91(8): 1362-1367. Epub 2025 May 9. <http://doi.org/10.1177/00031348251341960>. PMID: 40340537.

Reviews

57. Strasberg SM. (2021). Management of bile duct injury during cholecystectomy. *World Journal of Emergency Surgery*. 16(1): 30.
58. Suthar M, Purohit S, Bhargav V, Goyal P. (2015, Nov). Role of MRCP in differentiation of benign and malignant causes of biliary obstruction. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*. 9(11): TC08-TC12. doi: 10.7860/JCDR/2015/14658.6812.
59. Tawde P, John N, Farah S et al. (2024, Nov 15). Comparison of da Vinci Robotic Cholecystectomy and Laparoscopic Cholecystectomy: A Systematic Review and Meta-Analysis of Postoperative Outcomes and Cost-Effectiveness. *Cureus*. 16(11): e73767. doi: 10.7759/cureus.73767. PMID: 39691126; PMCID: PMC11650005.
60. Valderrama-Treviño AJ. (2020). Updates in Mirizzi syndrome. *Hepatobiliary Surgery and Nutrition*. 9(1): 104-108.
61. Williams E, Beckingham I, El Sayed G et al. (2017). Updated guideline on the management of common bile duct stones (CBDS). *Gut*. 66: 765-782.
62. Wilson A. (2025). New 3D bioprinting technique for real-world applications in tissue engineering. *MIT News*. Sept 17.
63. Wong MY, Saxena P, Kaffes AJ. (2020). Benign Biliary Strictures: A Systematic Review on Endoscopic Treatment Options. *Diagnostics*. 10(4): 221. doi: 10.3390/diagnostics10040221.
64. Zafar Y, Azam H, Azhar MAB, Shaheen F, Javaid SS, Manzoor L et al. (2025, Jul). Efficacy of endoscopic ultrasound-guided biliary drainage of malignant biliary obstruction: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Clin Endosc*. 58(4): 533-543. Epub 2025 Feb 24. doi: 10.5946/ce.2024.183. PMID: 40010703; PMCID: PMC12314615.
65. Zhang G, Liang Z, Zhao G, Zhang S. (2024). Endoscopic application of magnetic compression anastomosis: a review. *Journal of Gastroenterology and Hepatology*. 39(7): 1256-1266.
66. Zhang M-M, Tao J, Sha H-C et al. (2024). Magnetic compression anastomosis to restore biliary tract continuity after obstruction following major abdominal trauma: A case report. *Journal of Surgical Case Reports*. 16(6): 1933-1938. doi: 10.4240/wjgs.v16.i6.1933. PMID: 38983322; PMCID: PMC11229997.
67. Zhang M, Sha H, Lu G et al. (2025). Magnetic compression anastomosis for recanalization of anastomotic stenosis after radical surgery for esophageal cancer. *Endoscopy*. 57; Suppl 1: E66. doi: 10.1055/a-2512-7680.
68. Zhang MX, Tang JF, Cai DT, Li S, Li K, Chi SQ et al. (2025). Technical performance, surgical workload and patient outcomes of robotic and laparoscopic surgery for pediatric choledochal cyst: a multicenter retrospective cohort and propensity score-matched study. *HepatoBiliary Surg Nutr*. 14(5): 726-741. doi: 10.21037/hbsn-24-439.
69. Zang W. (2024). Advances in minimally invasive liver surgery. *Frontiers in Surgery*. 11: 1198.
70. Zhang X, Tang F, Cai T et al. (2025). Technical performance, surgical workload and patient outcomes of robotic and laparoscopic surgery for pediatric choledochal cyst: A multicenter retrospective cohort and propensity score-matched study. *HepatoBiliary Surgery and Nutrition*. 14(5): 726. doi: 10.21037/hbsn-24-439.
71. Zhou Y, Zeng S, Cai P et al. (2025, Jun). Augmented reality navigation combined with indocyanine green fluorescence imaging to assist reconstruction of iatrogenic bile duct injuries. A retrospective single-arm cohort study (with video). *HPB*. 28(3). doi: 10.1016/j.hpb.2025.12.010.
72. Zhu L, Huang ZQ, Wang ZW, Yang XP et al. (2023). A comparative study on the application of different endoscopic diagnostic methods in the differential diagnosis of benign and malignant bile duct strictures. *Front Med (Lausanne)*. 10: 1143978.

Відомості про авторів:

Іванько Олександр Вікторович – к.мед.н., доц. каф. хірургії, анестезіології та інтенсивної терапії ІПО НМУ ім. О.О. Богомольця.
Адреса: м. Київ, вул. Харківське шосе, 121. <https://orcid.org/0000-0003-0036-4675>.

Скиба Володимир Вікторович – д.мед.н., проф., зав. каф. хірургії, анестезіології та інтенсивної терапії ІПО НМУ ім. О.О. Богомольця.
Адреса: м. Київ, вул. Харківське шосе, 121. <https://orcid.org/0000-0003-3496-9605>.

Стадник Володимир Ярославович – к.мед.н., доц. каф. хірургії, анестезіології та інтенсивної терапії ІПО НМУ ім. О.О. Богомольця.
Адреса: м. Київ, вул. Харківське шосе, 121. <https://orcid.org/0009-0008-5040-9783>.

Войтюк Наталя Вікторівна – к.мед.н., доц. каф. хірургії, анестезіології та інтенсивної терапії ІПО НМУ ім. О.О. Богомольця.
Адреса: м. Київ, вул. Харківське шосе, 121. <https://orcid.org/0000-0002-6821-1707>.

Плюта Ірина Іванівна – к.мед.н., ас. каф. хірургії, анестезіології та інтенсивної терапії ІПО НМУ ім. О.О. Богомольця.
Адреса: м. Київ, вул. Харківське шосе, 121. <https://orcid.org/0000-0002-6471-6150>.

Стаття надійшла до редакції 30.12.2025 р., прийнята до друку 16.03.2026 р.